

A foszfor dinamizmusa egy szántóföldi kísérlet talajában

FÁBRY GYÖRGYÉ

Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet

Talajtani Osztálya, Budapest

1962. őszén műtrágyázási kísérletet állítottunk be Seregélyesen az Úttörő TSz-ben. A kísérlettel párhuzamosan laboratoriumi vizsgálatokat végeztünk, melyeknek célja a foszfor dinamizmusának, tehát a változások törvényszerűségeinek a közöttük fennálló összefüggéseknek tanulmányozása. A kísérlet latinégyzet elrendezésű. A parcellák netto területe 1 kh. Növény: *MV 1-es kukorica*.

A kísérleti tér Seregélyesen a paskomi úttól ÉNY-ra enyhe lejtőn fekszik. Talajtípus: a lejtő alján elhelyezett parcellasor talaja réti csernozjom, a többi parcella talaja csernozjom.

A kísérlet beállítása előtt a talajokat helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokkal jellemeztem. Ezek a vizsgálatok minden parcellánál ázott szelvényekből történtek. A tápanyagvizsgálatokat a humuszos szintek átlagmintáiból az alábbi öt időpontban végeztük:

1. 1962. szeptember 25. (trágyázás előtt),
2. 1963. május 28. (kelés),
3. 1963. augusztus 8. (címérhányás),
4. 1963. szeptember 15. (viaszerés),
5. 1963. november 5. (törés után).

A kezeléseket és az 1963. évi terméseredményt az 1. táblázat tartalmazza, melyből kitűnik, hogy a kontroll parcellák terméseredménye a többi kezelés terméseredményeinél szignifikánsan kisebb. Az A, B, C, D kezeléseket a terméseredményekben szignifikáns változásokat nem eredményeztek.

Anyag és módszer

A foszfor dinamizmusának tanulmányozásához az alábbi vizsgálatokat végeztem el:

1. Az alapvizsgálatok a helyszínekkel együtt a kísérleti tér talajait jellemezték.

2. A szelvények mechanikai elemzését DWORÁK – VÁRALYAY szerint vizsgáltam.

3. Az összes nitrogén meghatározására a KJELDAHL módszert alkalmaztam.

4. Az összes foszfor és kálium meghatározását kiizzított talajból királyvizes feltárással végeztem.

5. Az oxidimetrikus szén- illetve humuszmeghatározás SCHOLLENBERGER – TYURIN módszerével, SARKADI módosításainak felhasználásával történt.

6. A szerves foszfort BOWER módszerének [2] elve alapján, kisebb módosításokat eszközölve vizsgáltam. A módszer lényegében kivonásos módszer, a lúgos kezelést MEHTA szerint [9] háromszor alkalmaztam: szobahőmérsékleten, 90 és 120 °C-on.

7. Az oldható foszforsavat ÉGNER – RIEHM kettős laktátos eljárása szerint [3] KÜHN rendszerével [8], folyamatosan, háromszori kioldással határoztam meg. A szakaszos kioldásoknak megfelelően könnyen, közepesen és gyengén oldható frakciókat különböztettem meg.

8. A megkötődési kísérleteket szintén folyamatosan, háromszori kioldással végeztem oly módon, hogy az első kioldás előtt 10 mg foszforsavat adtam 100 g talajra számítva. A további kioldásoknál foszfátoldatot nem használtam. A három kioldási szakasznak megfelelően az adagolt foszforsav három frakcióra különült, melyeket jól oldódó, lazán és erősen kötött foszforsavnak neveztem.

A kísérleti tér 106 talajmintáját vizsgáltam meg az első mintavétel során, a további időszakokban 52 minta vizsgálata szerepelt rendszeresen, melyből 25 a művelt rétegből és 27 a művelt réteg alatti humuszos szintekből származott. A minták parcellánként háromszor öt mintavételi hely átlagát képviselték. Az 1. parcella rendkívül nagy könnyen oldható foszfor-

1. táblázat

A szántóföldi kísérlet kezelései és terméseredménye

(1) Kezelés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		(2)
	kg/kh hatóanyag				Terméseredmény q/kh
A	80	40	20	+ bükkönygyökér alászántva	37,0
B	80	40	20		36,4
C	40	40	20		36,9
D	40	40	40	+ bükkönygyökér alászántva	33,3
E (Kontroll)	∅	∅	∅		27,5
SzD ₅ %					5,1

N = 25%-os pétisó; P₂O₅ = 18%-os szuperfoszfát; K₂O = 40%-os kálisó

2. táblázat

A kísérleti tér művelt rétegének könnyen oldható foszfortartalma
(P₂O₅ mg/100 g talaj)

(1) Kezelés jele	(2) Vizsgálati időszak					(3) Kezelés	
	1	2	3	4	5	átlag	SzD ₅ %
A	5,3	6,4	5,3	5,0	8,3	6,0	
B	7,5	6,5	6,0	5,7	7,2	6,6	
C	4,4	3,4	4,3	3,7	5,2	4,2	
D	4,4	5,1	4,1	3,9	5,0	4,5	
E	7,5	6,4	4,3	4,3	5,8	5,7	
Időszaki átlag	5,8	5,6	4,8	4,5	6,3	5,4	0,7
SzD ₅ %						1,0	

Bármely két kezelés, illetve időszak közötti különbség SzD₅% = 1,7

tartalma miatt a statisztikai számításoknál, az összes tápanyagok és a terméseredmények kivételével, 24 parcella adatával számoltam.

A vizsgálati adatokat táblázatokban és ábrákon ismertetem. A táblázatok részletezettsége főként a szignifikanciavizsgálat függvénye [10, 12]. Részletesebben közlöm a művelt réteg könnyen oldható, adszorbeált valamint szerves foszforfrakcióinak változásait a 2., 3., 4. táblázatban, melyekben a kezelések és időszakok átlagai szerepelnek. A művelt réteg alatti humuszszintek különböző foszforfrakcióinak pedig már csak az időszaki átlagait tüntettem fel. (5. táblázat).

Az eredmények értékelése

Az év folyamán öt időszakban vizsgáltam minden parcella művelt rétegében és az alatta levő humuszszintekben az összes oldható, könnyen oldható, adszorbeált foszforfrakciók, valamint a szerves foszfor mennyiségét. A vizsgálatok két szintre való kiterjesztése lehetővé tette, hogy a foszforfrakciók mennyiségének mélységbeni változását is figyelemmel kísérhessem. A parcellák különböző foszforfrakcióinak időszaki átlagértékeit az 1. ábra tünteti fel. Ebben az ábrában ismertetem az 1. parcella foszforfrakcióinak adatait is, melyek a táblázatokban nem szerepelnek.

3. táblázat

A művelt rétegekből vett mintákhoz adott 10 mg P_2O_5 /100 g talajból megkötött P mennyisége

(1) Kezelés jele	(2) Lazán kötött							(3) Erősen kötött						
	P ₂ O ₅ mg/100 g talaj													
	(4) Vizsgálati időszakok					(5) Kezelés		(4) Vizsgálati időszakok					(5) Kezelés	
	1	2	3	4	5	átlaga	SzD _{5%}	1	2	3	4	5	átlaga	SzD _{5%}
A	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3		0,6	1,1	0,7	1,4	0,2	0,8	
B	2,0	1,2	1,0	1,3	1,8	1,5		1,3	1,8	0,8	0,8	0,3	1,0	
C	1,1	1,7	1,7	1,3	1,5	1,5		0,5	1,6	1,2	1,6	1,1	1,2	
D	1,0	1,4	1,2	1,1	1,5	1,2		0,8	0,8	1,2	0,7	0,4	0,8	
E	1,1	1,3	1,2	1,2	0,9	1,1		1,7	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	
a) Időszaki átlag SzD _{5%}	1,2	1,4	1,3	1,3	1,4	1,3 0,4	0,3	1,0	1,2	1,0	1,1	0,5	1,0 0,5	0,4

4. táblázat

A kísérleti tér művelt rétegének szerves foszfortartalma
(P_2O_5 mg/100 g talaj)

(1) Kezelés	(2) Vizsgálati időszakok					(3) Kezelés		(4) Szerves P_2O_5 az összes P_2O_5 %-ában
	1	2	3	4	5	átlag	SzD _{5%}	
A	31,3	31,4	30,9	29,1	30,8	30,7		39,3
B	32,6	28,9	28,3	28,8	33,5	30,4		33,7
C	34,2	30,2	34,3	30,9	39,1	33,7		38,3
D	32,8	31,2	29,8	30,8	30,0	30,9		39,9
E	26,3	27,9	33,6	31,1	30,6	29,9		39,6
a) Időszaki átlag SzD _{5%}	31,4	29,9	31,4	30,1	32,8	31,1 6,8	4,2	38,2

A parcellaadatokat különböző szempontok szerint csoportosítottam. Egyik ilyen szempont volt a kezelés, a másik az időszak, melyeknél azt vizsgáltam, hogy a kezelés illetve a különböző időszakok idéznek-e elő szignifikáns változásokat.

A 2. táblázat a parcellák könnyen oldható foszfortartalmát mutatja kezeléssenként az öt vizsgált időszakban. Az adatok a már említett ok miatt a 2–25 parcellára vonatkoznak. A kísérleti tér könnyen oldható foszfortartalmának főátlaga 5,4 mg. A vizsgálati időszakok folyamán a könnyen oldható foszfortar-

talomban változások történtek. A kísérleti tér időszaki és kezelési átlagai között a táblázatban szignifikáns (statisztikailag igazolt) különbséget láthatunk (pl. a 4. és 5. időszaki átlagok között), azonban ezek a különbségek gyakorlatilag nem jelentősek. Bármely kezelés és bármely időszak kombinációjában már több szignifikáns különbség mutatkozott (pl. az A kezelés 5. időszaki átlaga a B 1, 5. és az E 1. átlagok kivételével mindeniknél szignifikánsan nagyobb, a C kezelés 2. időszaki átlaga pedig szignifikánsan kisebb az A 1., 2., 3., 5., a B 1., 2., 3., 4., 5., a C 5. stb. időszaki átlagainál).

A változások iránya azonban nem teljesen következetes.

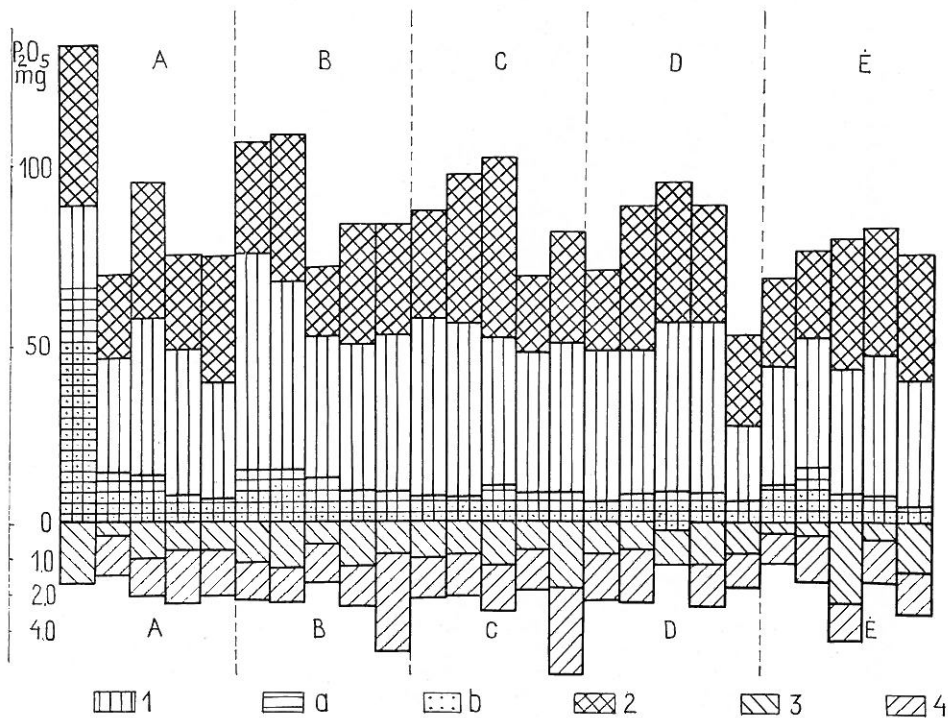
A művelt réteg alatti humuszos szintekben már csak 1,9 mg a főátlag, amint azt az 5. táblázat mutatja. Ezekben a szintekben az időszaki átlagok közül az 5. jelzett a többinél szignifikánsan nagyobb változást.

Az 1. időszaki átlagokhoz viszonyított későbbi átlagok a művelt réteghez hasonlóan itt is az 1–4 időszakban csökkenő tendenciájúak.

A 2. ábrán a művelt réteg és az alatta levő humuszos szintek könnyen oldható és összes oldható foszfortartalmának idő-görbét mutatom be. Mind a négy görbe lefutása közel azonos. A két foszforértéksor korrelációs koefficiense a művelt rétegben és az alatta levő humuszos szintekben egyaránt szoros (6. táblázat).

Tekintettel arra, hogy a növény tápanyagfelvételének nem előfeltétele a foszfor sav könnyen oldható volta, így számításba jönnek a kevésbé oldható formák is, melyek az utánpótlást szolgálják [1].

Ilyen kevésbé oldható foszforformák: a közepesen és a gyengén oldható frakciók. Ezek viszonylagos mennyisége a mélységgel növekszik, a kísérleti tér művelt rétegében az összes oldható foszforsavnak 41,5, a művelt réteg alatti humuszos szintekben 60,6 és a nem humuszos szintekben 72,2%-a. A foszforszolgáltatásban vesznek részt az előbbi megállapítás szerint az adszorbeált foszformennyiségek is, köztük elsősorban a lazán kötött frakciók. Megkötődési vizsgálataimnál az adszorbeált foszforsav két frakcióját határoztam meg: a lazán és az erősen kötöttet. A parcellák talajainak művelt rétegében az adszorbeált foszforsav mindkét frakciója mutatott időszakonként szignifikáns változásokat, mivel azonban mennyiségük csekély, ezért a 3. táblázatban csak kezelésként közlöm a lazán és az erősen kötött foszforsav időszaki átlagait. A lazán kötött foszforsavnál sem az időszaki, sem a kezelésként nem mutattak igazolható különbségeket. Az adagolt 10 mg P_2O_5 -ből a kísérleti tér művelt rétegében 1,3 mg kötődött le



1. ábra

A kísérleti tér talajainak foszforfrakciói. 1. Szervetlen foszfor. a) összes oldható foszfor, b) könnyen oldható foszfor. 2. Szerves foszfor. 3. Lazán kötött foszfor. 4. Erősen kötött foszfor. A kezelések A-tól E-ig az ismétlést jelzik.

5. táblázat

A különböző foszforfrakciók időszaki változása a művelt réteg alatti humusz szintekben

(1) Vizsgálati időszak	(2) Könnyen oldható	(3) Lazán kötött	(4) Erősen kötött	(5) Lazán + erősen kötött	(6) Szerves	(7) Szerves foszfor az összes %-ában
	P ₂ O ₅ mg/100 g talaj					
1.	1,7	2,1	2,5	4,6	27,1	39,7
2.	1,6	2,0	2,0	4,1	26,4	34,1
3.	1,5	2,4	2,1	4,5	24,6	31,6
4.	1,1	2,4	2,0	4,4	20,9	30,7
5.	3,5	2,1	1,4	3,5	29,5	39,6
a) Időszaki átlag	1,9	2,2	2,0	4,2	25,7	35,1
SzD _{5%}	0,6	0,8	0,5		5,6	

lazán és az öt időszak átlagai egymáshoz közel álló értékek: 1,2–1,4 mg.

A kezelések átlagok az erősen kötött foszfor-savnál sem jeleztek szignifikáns különbségeket, az időszakok átlagok közül azonban az 5. szignifikánsan kevesebb volt a többinél. A kísérleti tér művelt rétegében az adagolt 10 mg P₂O₅-ből átlagosan 1 mg kötődött le erősen. Az erősen kötött foszfor-sav időszakok átlaga legnagyobb a 2. időszakban: 1,2 és legkevesebb az 5. időszakban: 0,5 mg.

A művelt réteg alatti humusz szintekben az adagolt foszfor-savnak nagyobb része kötődött le, mint a művelt rétegben. Az adagolt 10 mg P₂O₅-ből lazán + erősen 4,2 mg a lekötődés, amiből 2,2 mg lazán és 2,0 mg erősen kötött frakció. A lazán kötött frakció mennyiségében az öt vizsgált időszakban szignifikáns változás nem történt. Az erősen kötött frakció időszakok átlagai közül az 5. mutatott szignifikáns különbséget. Az erősen kötött foszfor-savnak az 5. időszakra bekövetkezett csökkenése valószínűleg a könnyen oldható foszfor-sav növekedésével függött össze.

A foszfor-sav utánpótlását szolgálja a szerves foszfor is. A parcellák művelt rétegének időszakok változásaival nem foglalkozom tekintve, hogy sem az időszakok átlagok, sem a kezelések átlagok nem voltak szignifikánsak. A kezelések időszakok átlagait az 4. táblázatban ismertetem. A kísérleti tér művelt rétegének szerves foszfor-átlaga 31,1 mg, összes foszforban kifejezett mennyisége 38,2%. A szerves foszfor-átlaga kicsiny ingadozása a tenyésztő folyamán arra utal, hogy a kísérleti tér talaja kiegyensúlyozott dinamikájú, a szerves foszfor képződése és lebontása egyensúlyt tart. A művelt réteg alatti humusz szintekben a szerves foszfor átlaga 25,7

mg, az összes foszfor mennyiségében kifejezve 35,1% (5. táblázat). A kísérleti tér időszakok átlagai közül az 5. időszak szignifikánsan több a 4. időszakénál. Ebben a szintben tehát szintén kismérvű gyarapodást mutatott a szerves foszfor a tenyésztő végére, azonban időszakok átlagai a művelt réteg átlagainál nagyobb ingadozást jeleztek.

A parcellák nem humusz szintjeinek szerves foszfortartalma 20,2 mg, összes foszforban kifejezett mennyisége 31,6%, ezekben a szintekben a szerves foszfor időszakok változását nem vizsgáltam. Az adatokból azt is láthatjuk, hogy a kísérleti tér talajában a szerves foszfor mennyisége a mélységgel csökken.

Az időszakok vizsgálatok eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le: A különböző kezelések és időszakok a vizsgált foszforfrakciók közül a kísérleti tér művelt rétegének könnyen oldható foszfortartalmában eredményeztek legtöbb szignifikáns bár nem jelentős változást. A művelt réteg alatti humusz szintek könnyen oldható foszfortartalmában azonban már csak az 5. időszak idézett elő igazolható változást.

Az adszorbeált foszforfrakciók közül a lazán kötött mennyiségében sem a különböző kezelések, sem az időszakok egyik szintben sem idéztek elő szignifikáns változást. Az erősen kötött foszforfrakciónál is mindkét szintben kizárólag az 5. időszak eredményezett szignifikáns csökkenést. Ebben az időszakban, a növény tápanyagfelvételének megszűnte után, az erősen kötött foszfor-savnál és a könnyen oldható foszfor-nál általában fordított jellegű változás következett be: megnőtt a könnyen oldható foszfor-sav és csökkent az erősen kötött foszforfrakció.

6. táblázat

Az összefüggések paraméterei

Sor- szám	(1) Tényezők	r	n	a	b
1.	Könnyen oldható foszfor- sav — Összes oldható foszforsav	a) $0,916 \pm 0,032$ b) $0,702 \pm 0,101$ c) $0,989 \pm 0,030$	24 25 41	2,580 1,888 0,728	$1,226 \pm 0,114$ $1,643 \pm 0,350$ $2,684 \pm 0,556$
2.	Könnyen oldható foszfor- sav — lazán + erősen kötött foszfor	a) $-0,503 \pm 0,152$	24		
3.	Lazán + erősen kötött foszfor — erősen kötött foszforsav	a) $0,842 \pm 0,059$	24	-0,469	$0,624 \pm 0,083$
4.	Összes foszforsav — szerves foszforsav	a) $0,827 \pm 0,064$ b) $0,599 \pm 0,128$ c) $0,731 \pm 0,072$	24 25 41	-7,182 11,237	$0,471 \pm 0,121$ $0,251 \pm 0,069$ $0,493 \pm 0,073$
5.	Összes nitrogén — szerves foszforsav	a) $0,971 \pm 0,012$ b) $0,871 \pm 0,048$ c) $0,342 \pm 0,137$	24 25 41	12,771 2,869	$0,102 \pm 0,005$ $0,162 \pm 0,019$
6.	Szerves szén — szerves foszfor	a) $0,764 \pm 0,085$ b) $0,469 \pm 0,153$ c) $0,581 \pm 0,103$	24 25 41	4,228	$0,026 \pm 0,004$
7.	Agyag — szerves foszfor	a) 0,331	24		
8.	Finom iszap + agyag — szerves foszfor	a) 0,419	24		
9.	Finom frakció (iszap, finom iszap, agyag) — szer- ves foszfor	a) $0,758 \pm 0,087$ b) $0,571 \pm 0,134$ c) $0,412 \pm 0,129$	24 25 41	2,399	$0,761 \pm 0,139$
10.	Durva iszap — szerves foszfor	a) $0,758 \pm 0,087$	24	5,438	$0,966 \pm 0,036$
11.	Összes nitrogén — termés	a) $0,504 \pm 0,149$	25		
12.	Összes foszforsav — termés	a) $0,598 \pm 0,128$	25		
13.	Összes kálium — termés	a) $0,405 \pm 0,167$	25		

a) művelt réteg (öt időszak átlaga)

b) művelt réteg alatti humuszos szint (öt időszak átlaga)

c) nem humuszos szint (trágyázás előtt)

Az időszaki változások eddigiekben ismerttetett alakulásában döntő szerepe volt a kísérleti tér kiegyensúlyozott, mezőiségi dinamikájú talajának. A másik tényező, amely szintén befolyásolta az időszaki változásokat, főként a lazán és az erősen kötött foszforfrakciók esetében, a talaj fizikai félesége. A kísérleti tér talajának homok—homokos vályog kötöttségével magyarázható, hogy a viszonylag kevés: 5,4 mg átlagos könnyen oldható foszforsav ellenére az adagolt 10 mg/100 g foszfor-savból csak 2,3 mg kötődött le, mégpedig

1,3 mg lazán és 1 mg erősen. A vizsgált tényezők összefüggéseit a 6. táblázatban foglaltam össze. A táblázat tartalmazza a korrelációs koefficienseket (r), a regressziós egyenlet *a* és *b* tényezőit az öt időszak átlagaiból számítva. Az *a* és *b* tényezőket abban az esetben tüntettem fel, ha a vizsgált tényezők között az összefüggés szorosnak bizonyult.

A könnyen oldható és az összes oldható foszforsav között mind a három vizsgált szintben (művelt réteg és az alatta levő humuszos genetikai szintek időszakosan,

a nem humuszos szintek trágyázás előtt, szelvényből) szoros pozitív összefüggés mutatkozott, amint azt a 6. táblázat 1. ismerteti. A művelt rétegben a könnyen oldható foszforsav az összes oldhatónak 58,8, a művelt réteg alatti humuszos szintekben 39,4 és a nem humuszos szintekben 27,8%-a.

A könnyen oldható foszforsav és a lazán + erősen kötött foszforsav között a művelt rétegben negatív, nem szoros összefüggést találtam (6. táblázat 2.). A lazán + erősen kötött foszforsav és az erősen kötött foszforsav között a művelt rétegben szoros, pozitív korreláció adódott (6. táblázat 3.).

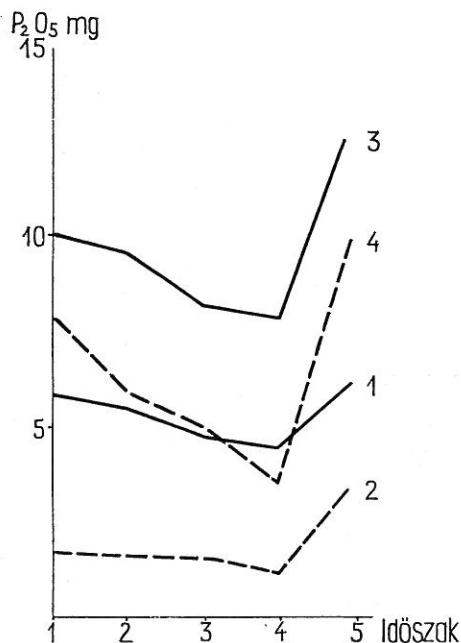
A táblázat további részében a szerves foszfor és tényezőinek összefüggéseit találjuk. A szerves foszfor a művelt rétegben szoros, pozitív korrelációt jelzett az összes foszforral, az összes nitrogénnel, a szénnel, valamint a talajok durva iszap mennyiségével (6. táblázat 4–10.). A talajok mecha-

nikai összetétele és a szerves foszfor között eddig igazolható, szoros összefüggést nem kaptam, [4], KAILA is laza korrelációról számolt be az agyaggal kapcsolatban [7]. A kísérleti tér talajainál az agyag és a szerves foszfor között ezúttal is csak 0,331, a finom iszap + agyaggal 0,419 korrelációs koefficiens értékét a művelt rétegben, mindkét frakció rendkívül kis részét teszi ki a réteg mechanikai összetételének. Az agyag + durva iszap + finom iszap és a szerves foszfor között már szoros összefüggést nyertem. Tekintve, hogy az agyaggal és a finom iszappal külön-külön a szerves foszfor korrelációja gyenge volt, feltételeztem, hogy a 0,758 korrelációs koefficiens a durva iszap eredményezte, ezért elvégeztem a durva iszap és a szerves foszfor között a korrelációs számítást, amely a feltételezést teljes mértékben igazolta. A finom frakció és a szerves foszfor között a művelt rétegben mutatkozott szoros összefüggés a művelt réteg alatti humuszos és nem humuszos szintekben lazult.

A szerves foszfornak a talaj durva iszap frakciójával való szoros összefüggése azt bizonyítja, hogy a kísérleti tér homok —homokos vályog talajaiban a szerves foszfor növekedése ott következik be, ahol több a talajban a durva iszap. A homok fizikai féleségű talajok között a több durva iszapot tartalmazók nyilván jobban tudják biztosítani nedvesség- és tápanyagkötő tulajdonságaikkal azokat a mikrobiológiai feltételeket, amelyek a szerves foszfor gyarapodásához, illetve stabilizálódásához szükséges. Ez az összefüggés felveti a tápanyagok és a műtrágyák érvényesülésében a talajok fizikai tulajdonságainak fontosságát [6, 11].

A meghatározási koefficiens szerint ($r^2 \times 100$) az összes foszfor 69, az összes nitrogén 94, a szén és a durva iszap 58%-ban jelzi előre, illetve magyarázza a szerves foszfor alakulását [5]. A művelt réteg alatti humuszos szintekben a szerves foszfor és az összes nitrogén összefüggése valami keveset lazult ugyan, de még mindig szorosnak mondható. Az összes foszforral, a szénnel és a finomabb frakciókkal már nagyobb mértékben lazult a szerves foszfor összefüggése ezekben a szintekben, mint az összes nitrogénnel, aminek oka, hogy az összefüggésben szereplő alkatrészek a mélységgel nem azonos mértékben csökkentek.

A nem humuszos szintekben egyedül az összes foszfor volt szoros korrelációban a szerves foszforral: a meghatározási koefficiens szerint az összes foszforsav 53%-kal magyarázza, illetve jelzi előre a szerves foszfor változását.



2. ábra

A könnyen oldható és az összes oldható foszforsav időgörbéje a humuszos szintekben. 1. Könnyen oldható foszforsav a művelt rétegben. 2. Könnyen oldható foszforsav a művelt réteg alatti humuszos szintekben. 3. Összes oldható foszforsav a művelt rétegben. 4. Összes oldható foszforsav a művelt réteg alatti humuszos szintekben.

A 6. táblázatban közölt további összefüggések (11–13) a talaj kiindulási tápanyagtökéjére és a terméseredményekre vonatkoznak. Az adatok szerint a talaj eredeti tápanyagtökéje és a terméseredmények közötti összefüggés, bár szignifikánsan pozitív, de nem túlságosan szoros.

Összefoglalás

A dolgozatban egy szántóföldi kísérlet lőszön kialakult csernozjom talajának foszfordinamikájával, tehát a változások törvényszerűségeivel és a közöttük fennálló összefüggésekkel foglalkozom.

A vizsgált frakciók: a könnyen oldható, az összes oldható, az adszorbeált (lazán + erősen) és a szerves foszfor. A változásokat kezelésenként öt időszakban (trágyázás előtt, keléskor, címerhányáskor, viaszóréskor és törés után), két szintben: a művelt rétegben és az alatta levő humuszszintekben vizsgáltam.

A különböző kezelések és időszakok a vizsgált foszforfrakciók közül a kísérleti tér művelt rétegének könnyen oldható foszfortartalmában bár statisztikailag igazolt, de gyakorlatilag nem számottevő változást eredményeztek. A művelt réteg alatti humuszszintek könnyen oldható foszfortartalmában már csak az 5. időszak idézett elő igazolható változást.

Az adszorbeált foszforfrakciók közül a lazán kötött mennyiségében sem a kezelések, sem az időszakok egyik szintben sem idéztek elő szignifikáns különbségeket. Az erősen kötött foszforfrakciónál is mindkét szintben kizárólag az 5. időszak eredményezett szignifikáns csökkenést. Ebben az időszakban, a növény tápanyagfelvételének megszűnte után, az erősen kötött foszforsavnál és a könnyen oldható foszfornál általában fordított irányú változás következett be: megnőtt a könnyen oldható foszforsav és csökkent az erősen kötött foszforfrakció mennyisége.

A kísérleti tér művelt rétegének szerves foszfortartalmában sem a kezelések, sem az időszakok hatására nem történtek szignifikáns változások. A művelt réteg alatti humuszszintek szerves foszformennyiségében az 5. időszakban mutatkozott szignifikáns változás. A szerves foszforátalakok csekély ingadozása a tenyészidő folyamán a kísérleti tér talajainak kiegyensúlyozott dinamikájára utal, melynek következtében a szerves foszfor stabil egyensúlyi állapotot mutat.

A mélységgel a könnyen oldható, az összes oldható, valamint a szerves foszfor csökkent és a közepesen, a gyengén old-

ható, valamint az adszorbeált foszforsav mindkét frakciója növekedett.

A vizsgált alkatrészek közül pozitív szoros összefüggést találtam a könnyen oldható : összes oldható foszforsav és a szerves foszfor : szén, összes nitrogén, összes foszfor, durva iszapfrakció között. Lazább, negatív korrelációt mutatott a könnyen oldható foszforsav : adszorbeált foszforsav (lazán + erősen kötött.).

Irodalom

- [1] BECKWITH, R. S.: Chemical extraction of nutrients in soils and uptake by plants. *Agrochimica*. **7**. 296–313. 1963.
- [2] BOWER, C. A.: Separation and identification of phytin and its derivatives from soils. *Soil Sci.* **59**. 277–285. 1945.
- [3] ÉGNER, H., RIEHM, H. & DOMINGO, W. R.: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* **26**. 199–215. 1960.
- [4] FÁBRY, GY-NÉ: Foszfortanulmány a Kertészeti és Szőlészeti Főiskola Soroksári Gazdaságának genetikai üzemi talajterképéhez. *Agrokémia és Talajtan*. **14**. 57–74. 1965.
- [5] FITS, J. W. & NELSON, W. L.: The determination of lime and fertilizer requirement of soils through chemical test. *Adv. Agron.* **8**. 241–282. 1956.
- [6] HAASE, H.: Ratgeber für den praktischen Landwirt. 7. Aufl. Siebeneichen Berlin. 1957.
- [7] KAILA, A.: Organic phosphorus in Finnish soils. *Soil Sci.* **95**. 38–44. 1963.
- [8] KÜHN, I.: Vizsgálatok a talajok felvehető káli- és foszforsavkészletének megállapítására. *Kísérletügyi Közlem.* **38**. 189–206. 1935.
- [9] MEHTA, W. C.: Determination of organic phosphorus in seven Iowa soil profiles: Distribution and amounts as compared to organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **4**. 162. 1938.
- [10] MUDRA, A.: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Parey. Berlin. 1958.
- [11] RID, H.: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Bodenstruktur. *Landw. Forsch.* **15**. 105–117. 1962.
- [12] SVÁB, J.: Statisztikai módszerek mezőgazdasági kutatók számára. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1961.

Érkezett: 1965. augusztus 12.

The Dynamics of Phosphorus in the Soil of a Field Experiment

I. FÁBRY

National Institute for Agricultural Quality Testing, Department of Soil Science, Budapest

Summary

In this paper we discuss the phosphorus dynamics — that is the regularities of the changes as well as the correlation among them — of a chernozem soil, developed on loess, studied in the framework of a field experiment.

The examined fractions: easily soluble, total soluble, adsorbed (weakly + strongly) and organic phosphorus. In each treatment, the changes were examined in five periods (before fertilization, at sprouting, at flowering, at waxen ripeness and after cutting) and in two horizons: in the ploughed layer and in the underlying humous layers.

From among the phosphorus fractions examined in different treatments and in different periods, in the easily soluble phosphorus content of the cultivated layer of the experimental area practically insignificant — although statistically proved — changes took place. In the easily soluble phosphorus content of the humous layers underlying the ploughed layer, however, only the 5th period induced demonstrable changes.

From among the adsorbed phosphorus fractions, in the quantity of the weakly fixed phosphorus the treatments did not bring about significant differences either in the various periods or in the different layers. In the case of strongly fixed phosphorus only the 5th period brought about a significant decrease in both horizons. In this period, after the discontinuance of nutrient uptake by plants, in the case of strongly fixed phosphoric acid and easily soluble phosphorus reversed changes took place in general: the quantity of easily soluble phosphoric acid increased, while that of the strongly fixed phosphorus fraction decreased.

Neither the treatments, nor the periods caused significant changes in the organic phosphorus content of the cultivated layer of the experimental area. In the 5th period a significant change occurred in the organic phosphorus content of the humous layers underlying the cultivated layer. The slight fluctuation of the mean values of organic phosphorus in the course of the breeding season indicates the well-balanced dynamics of the soils of the experimental area, and as a consequence of it, organic

phosphorus displays a stable state of equilibrium.

With increasing depth, the amount of the easily soluble, the total soluble and the organic phosphorus decreased, while that of the moderately soluble and slightly soluble phosphorus as well as both fractions of the adsorbed phosphoric acid increased.

Among the examined components, a close, positive correlation was found between the easily soluble and the total soluble phosphoric acid as well as among the organic phosphorus and carbon, total nitrogen, total phosphorus and the coarse silt fraction. A looser, negative correlation was observed between the easily soluble phosphoric acid and the adsorbed (weakly + strongly fixed) phosphoric acid.

Figure 1. The phosphorus fractions of the soils of the experimental area. 1. Organic phosphorus, *a*) total soluble phosphorus, *b*) easily soluble phosphorus. 2. Organic phosphorus. 3. Weakly fixed phosphorus. 4. Strongly fixed phosphorus. Treatments: from A to E, the Roman numbers indicate the repetition.

Figure 2. The time curve of the easily soluble and the total soluble phosphoric acid in the humous layers. 1. Easily soluble phosphoric acid in the cultivated layer. 2. Easily soluble phosphoric acid in the humous layers underlying the cultivated layer. 3. Total soluble phosphoric acid in the cultivated layer. 4. Total soluble phosphoric acid in the humous layers underlying the cultivated layer.

Table 1. Treatments and yield of the field experiment. (1) Treatment. (In addition to mineral fertilizers, vetch roots were ploughed back in treatments B and D). (2) Yield, q/cad. acre.

Table 2. Easily soluble phosphorus content of the ploughed layer of the experimental area. (1) Treatment. (2) Examination periods. (3) Average of treatments.

Table 3. The weakly and strongly fixed amounts of the added phosphoric acid in the ploughed layer of the experimental area. Dosage: 10 mg P_2O_5 /100 g soil. 1. Treatment. (2) Weakly fixed. (3) Strongly fixed. (4) Examination periods.

(5) Average of treatments. *a)* Periodical average.

Table 4. The organic phosphorus content of the ploughed layer of the experimental area. (1) Treatment. (2) Examination periods. (3) Average of treatments. (4) Organic P_2O_5 as per cent of total P_2O_5 . *a)* Periodical average.

Table 5. The periodical changes of the

various phosphorus fractions in the humous layers underlying the ploughed layer.

(1) Examination period. (2) Easily soluble. (3) Weakly fixed. (4) Strongly fixed. (5) Weakly + strongly fixed. (6) Organic P_2O_5 (7) Organic phosphorus as per cent of total phosphorus. *a)* Periodical average.

Table 6. Parameters of the correlations.

Die Dynamik des Phosphors im Boden eines Versuchsfeldes

I. FÁBRY

Landesinstitut für landwirtschaftliche Qualitätsprüfung, Abteilung für Bodenkunde, Budapest

Zusammenfassung

Verfasser berichtet über die Phosphordynamik eines auf Lös ausgebildeten tschernosjom Bodens in einem Versuchsfeld, also über die Gesetzmässigkeit der Veränderungen und der zwischen ihnen bestehenden Zusammenhänge.

Die untersuchten P-Fractionen waren: leichtlöslicher, schwerlöslicher, adsorbierter (schwach und stark adsorbierter) und organischer Phosphor. Die Veränderungen wurden je Variante zu fünf Zeitpunkten (vor der Düngung, nach Aufgang der Saat, beim Fahnschieben, zur Wachtreife und nach der Ernte) und in zwei Bodenschichten: in der Ackerkrume und in der darunter liegenden humosen Schicht, untersucht.

Unter den untersuchten Phosphorfractionen zeigte der leichtlösliche Phosphorgehalt der Ackerkrume des Versuchsfeldes auf den einzelnen Varianten und in den einzelnen Zeitpunkten eine statistisch gesicherte, praktisch jedoch nicht bedeutende Veränderung. Der leichtlösliche Phosphorgehalt der humosen Schichten unter der Ackerkrume wies aber nur bei der Probenahme nach dem 5. Zeitpunkt eine nachweisbare Veränderung auf.

Die Menge der schwach adsorbierten Phosphorfractionen verändert sich weder durch die Varianten, noch zu den einzelnen Zeitpunkten in keiner Schicht signifikant; auch im Gehalt der stark adsorbierten Phosphorfractionen ergaben nur die Proben des 5. Zeitpunktes einen signifikanten Rückgang in beiden Schichten. Nachdem die Pflanze die Nährstoffaufnahme eingestellt hatte, trat im Gehalt der stark adsorbierter Phosphorsäure und des leichtlöslichen Phosphors eine im allgemeinen entgegengesetzte Veränderung auf: der Gehalt an leichtlöslicher Phosphorsäure

stieg an und die stark adsorbierte Phosphorfraction nahm ab.

Der Gehalt der Ackerkrume des Versuchsfeldes an organischem Phosphor erlitt weder durch die Einwirkung der Varianten, noch durch eine solche der Zeitpunkte eine signifikante Veränderung. Der Gehalt der humosen Schichten unter der Ackerkrume an organischem Phosphor wies nur bei der in dem 5. Zeitpunkt entnommenen Probe eine signifikante Veränderung auf. Die geringe Schwankung der Durchschnittswerte des organischen Phosphors während der Wachstumsperiode deutet auf seine ausgeglichene Dynamik in den Böden des Versuchsfeldes hin, derzufolge der organische Phosphor einen stabilen Gleichgewichtszustand anzeigt.

Mit der Tiefe verminderte sich der Gehalt an leichtlöslichem, gesamten löslichen und organischem Phosphor, der Gehalt an mittelmässig-, schwerlöslichem und beider Fractionen der adsorbierten Phosphorsäure stieg jedoch an.

Ein positiver enger Zusammenhang wurde zwischen der leichtlöslichen und gesamten löslichen Phosphorsäure so wie zwischen dem organischen Phosphor und dem Kohlenstoff, dem gesamten Stickstoff, gesamten Phosphor und der groben Schlammfraktion festgestellt. Zwischen der leichtlöslichen und der adsorbierten (schwach und stark gebundenen) Phosphorsäure schien eine schwächere negative Korrelation zu bestehen.

Tabelle 1. Die Varianten und Ernteergebnisse des Feldversuches. (1) Varianten. Ausser Mineraldünger wurden bei den Varianten B und D noch Wickewurzeln untergepflügt. (2) Ernteergebnis dz/kJ.

Tabelle 2. Der leichtlösliche Phosphorgehalt der Ackerkrume des Versuchsfeldes

- (1) Variante (2) Zeitpunkt der Probenahme,
(3) Durchschnittswert der Varianten

Tabelle 3. Der schwach und stark gebundene Anteil der dosierten Phosphorsäure in der Ackerkrume des Versuchsfeldes (1) Varianten. (2) Schwach gebundenes. (3) Stark gebundenes P_2O_5 -mg/100 g Boden. (4) Zeitpunkt der Probenahme. (5) Durchschnittswert der Varianten. (6) Durchschnittswert der Proben der einzelnen Zeitpunkte.

Tabelle 4. Gehalt der Ackerkrume des Versuchsfeldes an organischem Phosphor. (1) Variante. (2) Zeitpunkt der Probenahme, (3) Durchschnittswert der Varianten. (4) Menge des organischen Phosphors im % des Gesamtphosphors. (5) Durchschnittswert der Proben in den einzelnen Zeitpunkten.

Tabelle 5. Die periodische Veränderung der verschiedenen Phosphorfractionen in den humosen Schichten unter der Ackerkrume. (1) Zeitpunkt der Untersuchung. (2) Leichtlösliches. (3) Schwach-, (4) stark gebundenes, (5) Stark und schwach gebundenes. (6) Organisches P_2O_5 mg/100 g. (7) Organisches P_2O_5 im % des gesamten

P_2O_5 . a) Durchschnittswert der Proben in den einzelnen Zeitpunkten.

Tabelle 6. Parameter der Zusammenhänge (1) Variante, (a) Ackerkrume (Durchschnittswert von Probenahmen in fünf Zeitpunkten), (b) humose Schicht unter der Ackerkrume (Durchschnittswert der Proben von 5 Zeitpunkten), (c) nicht humose Schicht (vor der Düngung).

Abb. 1. Die Phosphorfractionen der Böden des Versuchsfeldes. 1. anorganischer Phosphor, a) gesamter, löslicher Phosphor, b) leichtlöslicher Phosphor. 2. Organischer Phosphor. 3. Schwach-, 4. stark gebundener Phosphor. Die Varianten sind von A bis E, die Wiederholungen mit römischen Zahlen bezeichnet.

Abb. 2. Zeitkurve der leicht- und der gesamten löslichen Phosphorsäure in den humosen Schichten. 1. Leichtlösliche Phosphorsäure in der Ackerkrume. 2. Leichtlösliche Phosphorsäure in den humosen Schichten unter der Ackerkrume. 3. Gesamte lösliche Phosphorsäure in der Ackerkrume. 4. Gesamte lösliche Phosphorsäure in den humosen Schichten unter der Ackerkrume.

Динамика фосфора в почве в одном из полевых опытов

И. ФАБРИ

Государственный институт по контролю за качеством почв и сельскохозяйственных продуктов, отдел почвоведения, Будапешт

Резюме

В настоящей работе автор занимается вопросами динамики фосфора, следовательно изучает закономерности его изменения и взаимосвязи в черноземной почве, образованной на лёссе в одном из полевых опытов.

Изучаемые фракции: слаборастворимый фосфор, общий фосфор, адсорбированный фосфор (рыхло + прочноадсорбированный) и органический фосфор. Изменения изучались в пяти интервалах по вариантам (перед внесением удобрения, при всходах, в фазе выбрасывания метелок, в фазе восковой спелости и после уборки) в двух горизонтах, а именно в пахотном горизонте и гумусированных слоях подпахотных горизонтов.

По различным вариантам и фазам развития растений из всех изученных фракций фосфора в пахотном горизонте почв опытного участка в содержании легкорастворимого фосфора получили статистически доказанные, но практически незначительные

изменения. При содержании легкорастворимого фосфора в пахотном горизонте в комбинации вариантов и сроков взятия образцов также наблюдаются сигнификантные разницы. В содержании легкорастворимого фосфора в подпахотных гумусированных горизонтах достоверное изменение получили только в пятом сроке взятия проб.

Из адсорбированных фосфорных фракций в количестве рыхлосвязной фосфорной фракции ни варианты, ни сроки взятия проб ни в одном из горизонтов не обнаружили достоверной разницы. В случае сильносвязной фосфорной фракции в обоих горизонтах исключительно пятый срок показали сигнификантное снижение. В этом сроке взятия проб после окончания усвоения питательных веществ растениями, у сильносвязанной фосфорной фракции произошло обратное изменение, а именно повысилось содержание легкорастворимого фосфора и уменьшилось количество сильносвязного фосфора.

В содержании органического фосфора пахотного горизонта опытного участка изменений не наблюдалось ни под влиянием вариантов, ни под влиянием сроков взятия проб. Количество органического фосфора в подпахотных горизонтах значительно изменялось только в пятом сроке взятия проб. Незначительные изменения средних значений органического фосфора в течение вегетационного периода указывает на уравновешенную динамику их в почвах опытного участка, вследствие чего содержание органического фосфора показывает стабильное состояние.

Содержание легкорастворимого, общего растворимого и органического фосфора с глубиной снижается и, наоборот, содержание слабо- и среднерастворимого фосфора, а также содержание двух фракций адсорбированного фосфора с глубиной повышается.

В изучаемых составных частях автор нашел положительную тесную взаимосвязь между легко-растворимым фосфором и содержанием общей растворимой фосфорной кислоты; между органическим фосфором и углеродом, общим содержанием азота, общим содержанием фосфора и глинистой фракцией. Соотношение легкорастворимого фосфора и фракции связанного фосфора (рыхло и сильносвязанная) показывает незначительную отрицательную корреляцию.

Табл. 1. Варианты и урожайные данные полевых опытов. (1) Варианты. (кроме минеральных удобрений в вариантах В и Д запахали и корневые остатки вики). (2) Урожайные данные в ц/га. хольд.

Табл. 2. Содержание легкорастворимого фосфора в пахотном горизонте почв опытного участка. (1) Варианты. (2) Срок взятия проб. (3) Среднее значение по вариантам.

Табл. 3. Количество внесенной рыхлосвязанной и сильносвязанной фосфорной

кислоты в пахотном горизонте почв опытного участка. Доза: 10 мг/ P_2O_5 на 100 грамм почвы. (1) Варианты. (2) Рыхлосвязанная. (3) Сильносвязанная. (4) Время взятия проб. (5) Среднее значение по вариантам. а) Среднее значение по срокам взятия проб.

Табл. 4. Содержание органического фосфора в пахотном горизонте почв опытного участка. (1) Варианты. (2) Время взятия проб. (3) Среднее значение по вариантам. (4) Количество органического фосфора в % от общего содержания P_2O_5 . а) Среднее значение по срокам взятия проб.

Табл. 5. Периодическое изменение различных доз фосфорных фракций в подпахотных гумусовых горизонтах. (1) Срок взятия проб. (2) Содержание легкорастворимого фосфора в мг/100 г почвы. (3) Рыхлосвязанного. (4) Сильносвязанного. (5) Рыхлосвязанного + сильносвязанного. (6) Органического фосфора. (7) Содержание органического фосфора в % от общего содержания фосфора. а) среднее значение по срокам взятия проб.

Табл. 6. Параметры зависимостей.

Рис. 1. Фракции фосфора в почвах опытного участка. 1. Неорганический фосфор. а) Общее содержание растворимой P_2O_5 . в) содержание легкорастворимого фосфора. 2. Органический фосфор. 3. Рыхлосвязанный фосфор. 4. Сильносвязанный фосфор. Варианты опыта обозначены буквами от А до Е, а римские цифры обозначают повторность.

Рис. 2. Кривая времени легкорастворимого и общего растворимого фосфора в гумусовых горизонтах. 1. Легкорастворимый фосфор, в пахотном горизонте. 2. Легкорастворимый фосфор в подпахотном гумусовом горизонте. 3. Общее содержание растворимого фосфора в пахотном горизонте. 4. Общее содержание общего растворимого фосфора в подпахотном гумусовом горизонте.